



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109727453 B

(45)授权公告日 2020.08.04

(21)申请号 201910046442.2

G08G 1/052(2006.01)

(22)申请日 2019.01.18

G08G 1/065(2006.01)

G01S 13/91(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109727453 A

(43)申请公布日 2019.05.07

(73)专利权人 电子科技大学

地址 611731 四川省成都市高新区(西区)
西源大道2006号

(72)发明人 段锐 刘丹 陈祝明 吴晓芳

符庆阳 张强

(74)专利代理机构 成都虹盛汇泉专利代理有限公司 51268

代理人 王伟

(51)Int.Cl.

G08G 1/01(2006.01)

(56)对比文件

CN 102176010 A,2011.09.07

CN 105093227 A,2015.11.25

CN 109168175 A,2019.01.08

CN 104881995 A,2015.09.02

CN 103477376 A,2013.12.25

CN 103763233 A,2014.04.30

CN 106909779 A,2017.06.30

JP 2014095676 A,2014.05.22

张文杰.基于DTMB 的无源雷达在车辆定位中的应用.《大众科技》.2013,第15卷(第171期),

审查员 杨钰

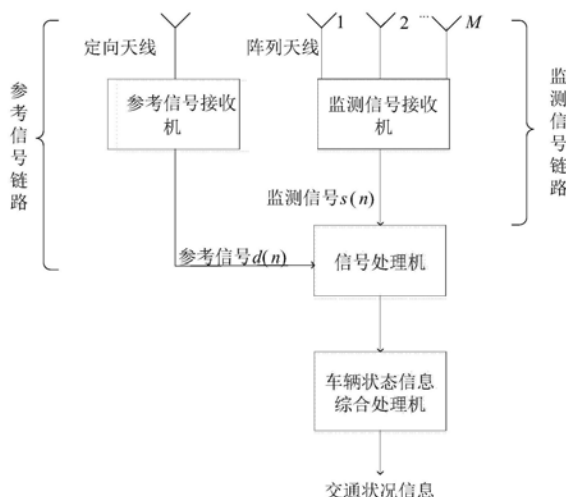
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54)发明名称

一种用于高速公路交通监测的无源雷达系统及其监测方法

(57)摘要

本发明公开一种用于高速公路交通监测的无源雷达系统及其监测方法,针对现有技术无法判定车辆是否存在车速超限和跨道行驶等违章行为的问题,本发明的系统及方法利用监视区域附近可以获得的外辐射源信号,对高速公路交通状态进行监测,并且通过利用阵列天线与和差波束测角技术,可以测量监视车辆的方位偏离角位置,从而能够监视高速公路各车道交通状况;还通过对监视车辆的波位、距离、速度和方位偏离角信息的综合处理,能够判断行驶车辆是否存在车速超限、跨道行驶的违章行为,同时本发明的方法通过对每个波位上所检测到的车辆信号进行计数,能够分别统计各波位的车流量和高速公路的总车流量。



1. 一种用于高速公路交通监测的无源雷达系统,其特征在于,包括:定向天线、阵列天线、参考信号接收机、监测信号接收机、信号处理机、综合信息处理机;定向天线接收来自外辐射源的直达波信号,阵列天线接收来自设定的监视区域内散射和反射的外辐射源信号;

定向天线的输出端连接参考信号接收机的输入端,参考信号接收机的输出端连接信号处理机的第一输入端;阵列天线的输出端连接监测信号接收机的输入端,监测信号接收机的输出端连接信号处理机的第二输入端;信号处理机的输出端连接综合信息处理机的输入端,综合信息处理机输出所监视区域的高速公路交通状况信息;所述高速公路交通状况信息包括:车辆行驶违章信息以及车流量统计信息;

还包括确定扫描波位位置及数量;具体为:每个车道设置一个波位中心与车道中心线重合的波位,相邻两个车道的边界设置一个波位中心与车道边界线重合的波位;

信号处理机至少包括:空间信号处理模块,为每个波位同时产生两个部分重叠的相同波束,且两个波束重叠部分的交叠轴指向该波位的中心,进而产生相应的和波束与差波束;定向天线、阵列天线都安装在高速公路路面上方的龙门架上;龙门架的布设位置选址在已确定的外辐射源附近,并满足以下条件:

外辐射源位于参考链路定向天线直视视线的接收范围内,且直达的外辐射源信号在接收天线处的信号干扰噪声比不小于0dB;

信号处理机还包括:距离-多普勒信号处理模块、车辆信号检测模块以及车辆距离、速度与角度位置解算模块;距离-多普勒信号处理模块用于计算各波位的和波束信号与参考信号的距离-多普勒互相关函数、计算各波位的差波束信号与参考信号的距离-多普勒互相关函数;车辆信号检测模块对各波位的和波束信号与参考信号的距离-多普勒互相关函数采用恒虚警率处理算法进行检测,当检测到存在车辆信号时,将该车辆信号对应的波位的和波束信号与参考信号的距离-多普勒互相关函数、差波束信号与参考信号的距离-多普勒互相关函数及其距离-多普勒单元位置传输给车辆距离、速度与角度位置解算模块。

2. 根据权利要求1所述的一种用于高速公路交通监测的无源雷达系统,其特征在于,龙门架周围所监视区域内的高速公路为直行道。

3. 根据权利要求2所述的一种用于高速公路交通监测的无源雷达系统,其特征在于,阵列天线采用均匀线阵配置,其基线与龙门架的主横梁方向重合,阵元法线同横梁方向相互垂直并且指向待监视区域的路面。

4. 一种基于无源雷达系统的高速公路交通监测方法,其特征在于,基于权利要求3所述的一种用于高速公路交通监测的无源雷达系统,来实现对高速公路的交通监测,包括以下步骤:

S1、参考信号与监测信号接收;参考信号来自外辐射源的直达波信号,监测信号来自设定的监视区域内散射和反射的外辐射源信号;

S2、对当前波位接收到的监测信号进行波束形成,产生和波束与差波束;

S3、分别计算当前波位的和波束信号、差波束信号与参考信号的距离-多普勒互相关函数;

S4、采用恒虚警处理算法在当前波位的和波束信号处理支路的距离-多普勒互相关函数的信号单元中检测是否存在车辆信号;若检测到存在车辆信号,则确定该车辆信号对应的波位及其距离-多普勒单元位置,然后执行步骤S5解算车辆参数;否则表示该波位内不存

在车辆,不进行车辆参数解算;

S5、计算检测到的车辆信号的车辆距离、速度以及方位位置;

S6、重复步骤S2~S5,直到完成对所有波位的检测;

S7、根据检测到的车辆信号的车辆距离、速度以及方位位置,得到车辆的行驶状态。

5.根据权利要求4所述的一种基于无源雷达系统的高速公路交通监测方法,其特征在于,步骤S5具体为:

S51、根据距离解算公式计算出检测到的车辆信号与阵列天线孔径之间距离;

S52、根据车辆速度解算公式解算出车辆的车速;

S53、根据对应波位的和波束信号、差波束信号与参考信号的距离-多普勒互相关函数,计算车辆相对于其所在波位中心的方位偏离角,即得到车辆方位位置。

6.根据权利要求5所述的一种基于无源雷达系统的高速公路交通监测方法,其特征在于,还包括对高速公路的车流量进行监测,具体为:在设定的观测时间内,对每个波位上所检测到的车辆信号进行计数,得到该波位对应的车辆数量;然后对所有波位的检测车辆数量求和,再除以观测的时间,得到高速公路的车流量。

一种用于高速公路交通监测的无源雷达系统及其监测方法

技术领域

[0001] 本发明属于无源雷达系统领域,特别涉及一种用于高速公路交通监测的无源雷达技术。

背景技术

[0002] 高速公路交通监测对于保证车辆行车安全、减少交通拥堵、提高实际的道路交通流量,以及增强交通与相关部门的监管能力和执法力度都具有重要的作用。常用的交通监测设备有光学传感器、机械传感器、移动通信网络以及有源雷达等。但是现有的各种检测手段还存在很多缺陷,光学监视系统会受到能见度影响,在雨、雪、雾天气和夜晚的性能很差;机械式感应线圈的安装和维护复杂,且属于点式监测,监视范围小;移动通信网络监测依赖于高速公路上的在线网络用户数量,当用户数量很低时,监测结果可能不准确;现有的有源雷达监测设备主要用于车辆测速,采用单频连续波信号和单天线设计,功能较为单一,不具备交通监测能力,并且有源系统的工作频率必须获得授权,其发射信号会污染电磁谱环境或者会受到其他的电磁干扰。另外,集成了上述全部或部分技术的混合系统,虽然性能有所改善,但是系统结构复杂,存在功能冗余和资源浪费问题。文献(M.K.Baczyk,P.Samczynski,P.Krysik et al.,“Traffic density monitoring using passive radars,”IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine,vol.32,no.2,pp.14-21,2017)使用数字视频广播(DVB-T,Digital Video Broadcasting for Terrestrial)信号和全球移动通信系统(GSM,Global System for Mobile communication)信号作为外辐射源进行交通监测,但其监测信号链路只有一个单天线接收通道,不具备测向能力,因而无法获得车辆路面位置和行驶车道信息,从而无法根据特定车道的行驶要求来确认车辆是否存在车速超限和跨道行驶等违章行为,并且无法分别统计出各车道的交通流量。

发明内容

[0003] 为解决上述技术问题,本发明提出一种用于高速公路交通监测的无源雷达系统,利用监视区域附近可以获得的外辐射源信号,对高速公路交通状态进行监测,整体系统结构简单,实现成本低;

[0004] 为解决上述技术问题,本发明还提出一种基于无源雷达系统的高速公路交通监测方法,对行驶车辆的违章行为进行监测。

[0005] 本发明采用的技术方案为:一种用于高速公路交通监测的无源雷达系统,包括:定向天线、阵列天线、参考信号接收机、监测信号接收机、信号处理机、综合信息处理机;定向天线接收来自外辐射源的直达波信号,阵列天线接收来自设定的监视区域内散射和反射的外辐射源信号;

[0006] 定向天线的输出端连接参考信号接收机的输入端,参考信号接收机的输出端连接信号处理机的第一输入端;阵列天线的输出端连接监测信号接收机的输入端,监测信号接收机的输出端连接信号处理机的第二输入端;信号处理机的输出端连接综合信息处理机的

输入端,综合信息处理机输出所监视区域的高速公路交通状况信息;所述高速公路交通状况信息包括:车辆行驶违章信息以及车流量统计信息;

[0007] 还包括确定扫描波位位置及数量;具体为:每个车道设置一个波位中心与车道中心线重合的波位,相邻两个车道的边界设置一个波位中心与车道边界线重合的波位;

[0008] 信号处理机包括:空间信号处理模块、距离-多普勒信号处理模块、车辆信号检测模块以及车辆距离、速度与角度位置解算模块;空间信号处理模块用于为每个波位同时产生两个部分重叠的相同波束,且两个波束重叠部分的交叠轴指向该波位的中心,进而产生相应的和波束与差波束;距离-多普勒信号处理模块用于计算各波位的和波束信号与参考信号的距离-多普勒互相关函数、计算各波位的差波束信号与参考信号的距离-多普勒互相关函数;车辆信号检测模块对波位的和波束信号与参考信号的距离-多普勒互相关函数采用恒虚警率处理算法进行检测,当检测到存在车辆信号时,将该车辆信号对应的波位的和波束信号与参考信号的距离-多普勒互相关函数、差波束信号与参考信号的距离-多普勒互相关函数及其距离-多普勒单元位置传输给车辆距离、速度与角度位置解算模块。

[0009] 上述定向天线、阵列天线都安装在高速公路路面上方的龙门架上;龙门架的布设位置选址在已确定的接收条件好且信号质量高的外辐射源附近,具体满足的条件为:外辐射源位于参考链路定向天线直视视线的接收范围内,且直达的外辐射源信号在接收天线处的信号干扰噪声比不小于0dB;龙门架周围所监视区域内的高速公路为直行道;阵列天线采用均匀线阵配置,其基线与龙门架的主横梁方向重合,阵元法线同横梁方向相互垂直并且指向待监视区域的路面。

[0010] 本发明还提供一种基于无源雷达系统的高速公路交通监测方法,包括:

[0011] S1、参考信号与监测信号接收;参考信号来自外辐射源的直达波信号,监测信号来自设定的监视区域内散射和反射的外辐射源信号;

[0012] S2、对当前波位接收到的监测信号进行波束形成,产生和波束与差波束;

[0013] S3、分别计算当前波位的和波束信号、差波束信号与参考信号的距离-多普勒互相关函数;

[0014] S4、采用恒虚警处理算法在当前波位的和波束信号处理支路的距离-多普勒互相关函数的信号单元中检测是否存在车辆信号;若检测到存在车辆信号,则确定该车辆信号对应的波位及其距离-多普勒单元位置,然后执行步骤S5解算车辆参数;否则表示该波位内不存在车辆,不进行车辆参数解算;

[0015] S5、计算检测到的车辆信号的车辆距离、速度以及方位位置;步骤S5具体为:

[0016] S51、根据距离解算公式计算出检测到的车辆信号与阵列天线孔径之间距离 r_v^q ;

[0017] $r_v^q = c\tau_{sh} + R_{Ref} - R_T$,

[0018] 其中, $\tau_{sh} = [R_{s1} + (h-1) \Delta R_G + R_T - R_{Ref}] / c$ 是距离单元h对应的延时差;

[0019] S52、根据车辆速度解算公式解算出车辆的车速;

[0020] $v_v^q = f_d \lambda / 2$,

[0021] 其中, f_d 是所检测到的车辆信号的多普勒频率;

[0022] S53、根据对应波位的和波束信号、差波束信号与参考信号的距离-多普勒互相关函数,计算车辆相对于其所在波位中心的方位偏离角,即得到车辆方位位置;

- [0023] S6、若已完成所有波位的检测,则执行步骤S7;否则返回步骤S2;
- [0024] S7、根据检测到的车辆信号的车辆距离、速度以及方位位置,得到车辆的行驶状态;
- [0025] 本发明的方法还包括:在设定的观测时间内,对每个波位上所检测到的车辆信号进行计数,然后对所有波位的检测车辆数量求和,再除以观测的时间,即可得到高速公路的车流量。
- [0026] 本发明的有益效果:本发明的高速公路交通监测雷达系统及方法,不需要包含专门的雷达发射机,而是利用监视区域附近可以获得的外辐射源信号,系统结构简单、成本比有源系统低,不会对本系统附近的其他无线电系统产生电磁干扰;除能够测量监视车辆的距离和速度外,系统利用阵列天线与和差波束测角技术,可以测量监视车辆的方位偏离角位置,从而能够监视高速公路各车道交通状况。通过对监视车辆的波位、距离、速度和方位偏离角信息的综合处理,能够判断行驶车辆是否存在车速超限、跨道行驶的违章行为,并且能够分别统计各波位的车流量和高速公路的总车流量。

附图说明

- [0027] 图1为本发明实施例提供的高速公路交通监测无源阵列天线雷达的系统结构框图。
- [0028] 图2为本发明实施例提供的高速公路交通监测无源阵列天线雷达系统的处理流程图。
- [0029] 图3为本发明实施例提供的高速公路交通监测无源阵列天线雷达系统场景图。
- [0030] 图4为本发明实施例提供的高速公路波束及波位覆盖图。
- [0031] 图5为本发明实施例提供的和波束与差波束波位图。
- [0032] 图6为本发明实施例提供的车辆状态信息综合处理流程图。

具体实施方式

- [0033] 为便于本领域技术人员理解本发明的技术内容,下面结合附图对本发明内容进一步阐释。
- [0034] 如图1所示为本发明的高速公路交通监测无源阵列天线雷达的系统结构框图;包括:定向天线、阵列天线、参考信号接收机、监测信号接收机、信号处理机、综合信息处理机;定向天线的输出连接至参考信号接收机,参考信号接收机的输出送至信号处理机,参考信号链路处理包括射频信号处理和干扰抑制处理;阵列天线的输出连接至监测信号接收机,监测信号接收机的输出送至信号处理机,监测信号链路处理包括多通道的射频信号处理和干扰抑制处理;信号处理机的输出送给综合信息处理机,综合信息处理机输出所监视区域的高速公路交通状况信息,包括:车辆行驶违章信息以及车流量统计信息。
- [0035] 本发明的无源雷达系统不包含专门的雷达发射机,而是利用普遍存在于其附近的其它无线电系统的发射信号作为外辐射源信号,比如,调频(FM, Frequency Modulation)广播信号、地面数字电视信号(DTMB, Digital Television Terrestrial Multimedia Broadcasting)、全球定位系统(GPS, Global Positioning System)信号和移动通信基站下行信号等。

[0036] 如图2所示,本发明的无源雷达系统包括两条不同功能的接收链路,即:参考信号链路和监测信号链路。参考信号链路负责接收外辐射源发射的直达波信号,并为监测信号链路提供高质量的参考信号。参考信号链路的接收天线为单个定向天线,天线方向图的中心对准外辐射源的方向,并对来自监测信号链路接收方向的信号具有很低的增益。监测信号链路负责接收从高速公路监视区域内散射和反射的外辐射源信号,即监测信号。监测信号链路的接收天线采用阵列天线,天线波束指向设定的高速公路监视区域。监测信号链路的的天线波束可以对监视区域内的所有车道按照方位方向依次进行扫描。

[0037] 本发明中参考信号链路和监测信号链路的的天线都安装在高速公路路面上方的龙门架上。龙门架的布设位置选址在设备安装前确定的接收条件好且信号质量高的外辐射源附近,并且龙门架周围所监视区域内的高速公路为直行道。监测信号链路的的天线阵列采用均匀线阵配置,其基线与龙门架的主横梁方向重合,阵元法线同横梁方向相互垂直并且指向待监视区域的路面。

[0038] 如图2所示,监测信号链路天线阵列的每个阵元连接至各自的接收通道,每个接收通道内包含一个射频信号处理模块,各阵元接收通道的输出送给干扰抑制模块。干扰抑制后的各通道信号送至空间信号处理模块进行波束形成和波束扫描。波束形成产生两种波束:和波束、差波束。波束扫描调整天线波束指向,依次照射高速公路的每个车道。在和波束所连接的信号处理支路中,检测车辆回波信号。若和波束处理支路检测到存在车辆,则解算该车辆的距离、速度,并且联合和、差波束支路对该车辆回波信号进行测向。根据所测车辆信号的波达方位偏离角,计算车辆在高速公路上的方位位置。最后,将车辆的距离、速度和方位位置送给综合信息处理机,可以得到车辆的行驶状态信息,进而判断车辆是否存在车速超限、跨道行驶等违章行为,并对监视区域各波位的交通流量进行统计。

[0039] 如图3所示为无源阵列天线雷达用于高速公路交通监测的场景图,外辐射源为地面数字电视塔3发射的地面数字电视(DTMB)信号,系统的参考天线4和监测天线阵列5安装在接收条件良好且可以保证信号质量的龙门架2上。

[0040] 所监视区域内的高速公路1为直行道,双向共有 $P=6$ 条车道,即在每个行车方向上各有一条超车道、行车道和应急车道。行车道($p=1$)和行车道($p=4$)限速为 $100\text{km/h} \sim 120\text{km/h}$,超车道($p=2$)和超车道($p=3$)限速为 $60\text{km/h} \sim 90\text{km/h}$,正常情况下,应急车道不能作为行车车道。超车道和行车道宽度为 3.75m ,应急车道宽度为 3m ,中央隔离带宽度为 1m ,路面的总宽度为 22m 。设置的高速公路监视区域的长度为 $L_G=100\text{m}$,宽度为 $W_G=22\text{m}$,并且监视区域与监测系统的最近距离为 $R_{s1}=100\text{m}$ 。

[0041] 在监视区域内有3辆行驶车辆:车辆6、车辆7和车辆8。车辆6和车辆7的行车方向为接近雷达的方向,车辆8的行车方向为远离雷达的方向。车辆6行驶在两条车道的边界线位置附近,车身跨越了应急车道1和行驶车道($p=1$),其车速为 $v_6=110\text{km/h}$,距离雷达 $r_6=180\text{m}$;车辆7行驶在超车道($p=2$)上,其车速为 $v_7=80\text{km/h}$,与雷达相距 $r_7=150\text{m}$;车辆8行驶在行驶车道($p=4$)上,其车速为 $v_8=150\text{km/h}$,与雷达相距 $r_8=110\text{m}$ 。可见,车辆6有跨道行驶且超速行为,车辆7正常行驶,车辆8为超速行驶。

[0042] 雷达系统所能利用的外辐射源DTMB信号的工作频率为 $f=762\text{MHz}$,带宽为 $B_s=7.56\text{MHz}$ 。监视区域所覆盖住的宽度不小于高速公路的总宽度,覆盖住的长度为 L_G ,且 L_G 满足 $L_G=H \cdot \Delta R_G$,因此,雷达系统的距离分辨单元的大小为 $\Delta R_G=c/B_s \approx 40\text{m}$, c 为光速,使用 $H=$

3个距离单元完全覆盖监视区域,雷达至监视区域内各距离单元中心的距离 R_{sh} 分别为 $R_{s1}=0.12\text{km}$, $R_{s2}=0.16\text{km}$ 和 $R_{s3}=0.2\text{km}$ 。系统安装时,可以准确地测量到地面数字电视发射塔3与雷达系统的距离,即参考距离为 $R_{\text{Ref}}=6\text{km}$,测量得到发射塔3与监视区域内各距离单元中心的距离 R_T 分别为 $R_{T1}=6.8\text{km}$, $R_{T2}=6.5\text{km}$ 和 $R_{T3}=6.3\text{km}$ 。

[0043] 监视天线阵列采用均匀线阵配置,其基线与龙门架主横梁方向重合,阵元法线同横梁方向相互垂直并且指向待监视区域的路面。监视天线阵列的孔径或基线长度为 $D_A=10\text{m}$,阵元间隔为 $d=0.2\text{m}$,总共有 $M=50$ 个阵元。天线波束宽度为 $\theta_{3\text{dB}}=51^\circ \lambda D \approx 1.9^\circ$ 。

[0044] 系统使用和差测角法确定车辆相对于监视天线阵的方位偏离角,在每个波位上测量的角度是车辆相对于和差波束交叠轴 OA^q 的偏角。和差波束交叠轴 OA^q 指向高速公路路面上预设的波位位置的中心,波位在方位偏离角上相互交叠,实现对高速公路监视区域的覆盖。

[0045] 需要扫描的波位位置根据所监视的高速公路路段的车道数量 P 、各车道中心线位置和宽度 W_R 来确定,具体方法为:在每个车道上设置一个扫描波位,该波位中心与车道中心线重合;在相邻车道的边界上设置一个波位,该波位中心与车道边界线重合。波位的宽度等于车道宽度。

[0046] 对于监视区域共 $P=6$ 条车道,系统共设置有 $Q=2(P-1)=10$ 个波位,其中波位 BM_q , $q=1,3,5,6,8,10$ 的中心分别在应急车道1,行车道,超车道,超车道,行车道和应急车道中心线上,波位 BM_q , $q=2,4,7,9$ 的中心分别在应急车道1-行车道,行车道-超车道,超车道-行车道,以及行车道-应急车道的边界线上。

[0047] 在每一个波位 BM_q , $q=1,2,\dots,10$ 上,同时产生两个相同的部分重叠的波束 $F_1^q(\theta)$ 和 $F_2^q(\theta)$,天线波束3dB方位偏离角宽度为 $\theta_A=1.9^\circ$,波束的交叠轴 OA^q 指向 BM_q , $q=1,2,\dots,10$ 的中心 θ_q ,其中 $\theta_q=\arctan L_q/R_s$, L_q 为各波束中心与阵元法线间的距离, $R_s=150\text{m}$,从左侧车道起 $L_q=9.5\text{m},8.0\text{m},6.125\text{m},4.25\text{m},2.375\text{m},2.375\text{m},4.25\text{m},6.125\text{m},8.0\text{m},9.5\text{m}$,则各波位中心分别为 $\theta_q=3.62^\circ,3.05^\circ,2.34^\circ,1.62^\circ,0.90^\circ,0.90^\circ,1.62^\circ,2.34^\circ,3.05^\circ,3.62^\circ$,波束 $F_1^q(\theta)$ 和 $F_2^q(\theta)$ 中心相对于交叠轴 OA^q 的夹角均为 $\alpha=\theta_A/2=0.95^\circ$,并产生相应的和波束 $\Sigma_F^q(\theta)$ 与差波束 $\Delta_{qF}(\theta)$,分别为:

$$[0048] \quad \Sigma_F^q(\theta) = F_1^q(\theta - \theta^q - \alpha) + F_2^q(\theta - \theta^q + \alpha)$$

$$[0049] \quad \Delta_F^q(\theta) = F_1^q(\theta - \theta^q - \alpha) - F_2^q(\theta - \theta^q + \alpha)$$

[0050] 和波束的输出 $s_\Sigma^q(n)$, $n=1,2,\dots,N$ 送给 Σ 信号处理支路,差波束的输出 $s_\Delta^q(n)$, $n=1,2,\dots,N$ 送给 Δ 信号处理支路。

[0051] 在每一个波位 BM_q , $q=1,2,\dots,10$ 上,参考天线接收来自数字地面电视发射塔3的直达波信号,监测天线阵列接收从监视区域散射的监测信号,对接收信号进行带通滤波、放大、下变频、模数转换以及干扰抑制处理,得到的参考信号为 $d(n)$, $n=1,2,\dots,N$,多通道监测信号矢量为 $s(n)=[s_1(n),s_2(n),\dots,s_M(n)]^T$, $n=1,\dots,N$, $s_m(n)$, $m=1,2,\dots,M$ 是第 m 个接收通道的监测信号序列的第 n 个样点, M 是天线阵列的阵元数量, $[\cdot]^T$ 是转置运算符, n 为

样点值索引, $m=1, \dots, 50$ 为接收通道索引, 采样频率为 $f_s=20\text{MHz}$, 样点间隔 $\Delta t_s=1/f_s=0.05\mu\text{s}$, 设定相干积累时间为 $T=1\text{s}$, 则系统的多普勒分辨率为 $\Delta f_d=1/T=1\text{Hz}$ 和采样点数 $N=Tf_s=2 \times 10^7$ 。对接收监测信号进行波束形成, 对应产生 Σ 、 Δ 信号处理支路的输入信号 $s_\Sigma^q(n)$, $n=1, 2, \dots, N$ 和 $s_\Delta^q(n)$, $n=1, 2, \dots, N$ 。

[0052] 接着, 用参考信号 $d(n)$, $n=1, \dots, N$ 分别同信号 $s_i^q(n)$, $i=\Sigma, \Delta$, $n=1, \dots, N$ 进行互相关处理, 得到距离-多普勒互相关函数

$$[0053] \quad \phi_i^q(h, k) = \left| \sum_{n=0}^{N-1} s_i^q(n) d^*(n-h) e^{j2\pi \frac{kn}{N}} \right|, i=\Sigma, \Delta$$

[0054] 其中, h 为距离单元索引且 $1 \leq h \leq H$, 本实施例中 $h=1, 2, 3$, k 为多普勒单元索引且 $-K+1 \leq k \leq K$, K 为系统可测的最大多普勒频率值的单元, 系统可测量最大车速 $v_{\max}=200\text{km/h}$, 最大多普勒频率 $f_{\max}=2v_{\max}/\lambda \approx 285\text{Hz}$, 则 $K=290$, 即 $-289 \leq k \leq 290$ 。

[0055] 然后, 在每一个波位 BM_q , $q=1, 2, \dots, 10$ 上, 检测在 Σ 支路信号 $\phi_\Sigma^q(h, k)$ 的每一个信号单元上是否存在车辆信号, 其中 (h, k) 为距离-多普勒单元索引, 且距离单元索引为 $h=1, 2, 3$, 多普勒单元索引为 $k=-289, \dots, 290$ 。使用经典的恒虚警率雷达目标检测算法, 当若在距离-多普勒单元 (h_v, k_v) 上 $\phi_\Sigma^q(h_v, k_v)$ 超过预设阈值, 就判决该单元为车辆目标单元。对应车辆6、车辆7和车辆8的检测信号的波位分别为: BM_2, BM_5 和 BM_7 , 以及距离-多普勒索引 (h_v, k_v) 分别为: $(3, 155)$, $(2, 113)$ 和 $(1, -212)$ 。

[0056] 把所检测到的 Σ 、 Δ 信号 $\phi_\Sigma^q(h_v, k_v)$ 和 $\phi_\Delta^q(h_v, k_v)$, 其中 $(h_v, k_v) = (3, 155)$, $(2, 113)$ 和 $(1, -212)$ 送给车辆距离、速度与角度位置解算模块。

[0057] 根据距离解算公式 $r_v^q = c\tau_{sh} + R_{\text{Ref}} - R_T$ 计算出检测到的车辆信号与阵列天线孔径之间距离, 其中 $\tau_{sh} = [R_{sh} + R_T - R_{\text{Ref}}]/c$ 为各距离单元回波对应的延时: $\tau_{s1}=3.05\mu\text{s}$, $\tau_{s2}=2.2\mu\text{s}$, $\tau_{s3}=1.65\mu\text{s}$, 则车辆6、车辆7和车辆8与天线孔径之间距离分别为: $r_v^2=195\text{m}$, $r_v^5=160\text{m}$, $r_v^7=115\text{m}$ 。

[0058] 根据车辆速度解算公式 $v_d = f_d \lambda / 2$, 其中 f_d 是所检测到的车辆信号的多普勒频率, 且 $f_d = k_v / N$; 解算出车辆6、车辆7和车辆8的车速分别为: $v_v^2=108\text{km/h}$, $v_v^5=79\text{km/h}$, $v_v^7=148\text{km/h}$ 。

[0059] 根据和差测角方法, 即用行驶车辆所在单元 (h_v, k_v) 的 Σ 信号处理支路 $\phi_\Sigma^q(h_v, k_v)$ 和 Δ 信号处理支路 $\phi_\Delta^q(h_v, k_v)$, 解算出车辆相对于当前波位中心位置的方位偏离角 θ_v^q , 解算出车辆6、车辆7和车辆8相对于其所在波位中心的方位偏离角分别为: $\theta_v^2=0.14^\circ$, $\theta_v^5=0.27^\circ$, $\theta_v^7=0.12^\circ$ 。

[0060] 把检测到车辆的波位 BM_v^q 、车距 r_v^q 、车速 v_v^q 和方位偏离角 θ_v^q 信息送给综合信息处理模块。根据所检测车辆的 BM_v^q 、 r_v^q 、 v_v^q 和 θ_v^q , 可以得到该车在监视区域内的行驶轨迹。

本实施例中,对于车辆6,根据 $r_v^2=195m$, $v_v^2=108km/h$,所在波位 BM_v^2 , $\theta_v^2=0.14^\circ$,以及该车道车速范围为 $100km/h\sim 120km/h$,可知车辆6占用了应急车道,且存在跨道行驶的违章行为;对于车辆7,根据 $r_v^5=160m$, $v_v^5=79km/h$,所在波位 BM_v^5 , $\theta_v^5=0.27^\circ$,该车道速度范围为 $60km/h\sim 90km/h$,可知车辆7在车道上正常行驶;对于车辆8,根据 $r_v^7=115m$, $v_v^7=148km/h$,所在波位 BM_v^7 , $\theta_v^7=0.12^\circ$,判断车辆8超速行驶。

[0061] 在观察时间段 $t=1h$ 内,对检测到的车辆信号进行计数,统计各个波位通行车辆数,得到每个波位的车流量(即统计通过每条车道的车辆数量),则各波位车流量总和为该段监视区域在 $1h$ 内车流量。

[0062] 本领域的普通技术人员将会意识到,这里所述的实施例是为了帮助读者理解本发明的原理,应被理解为本发明的保护范围并不局限于这样的特别陈述和实施例。对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的权利要求范围之内。

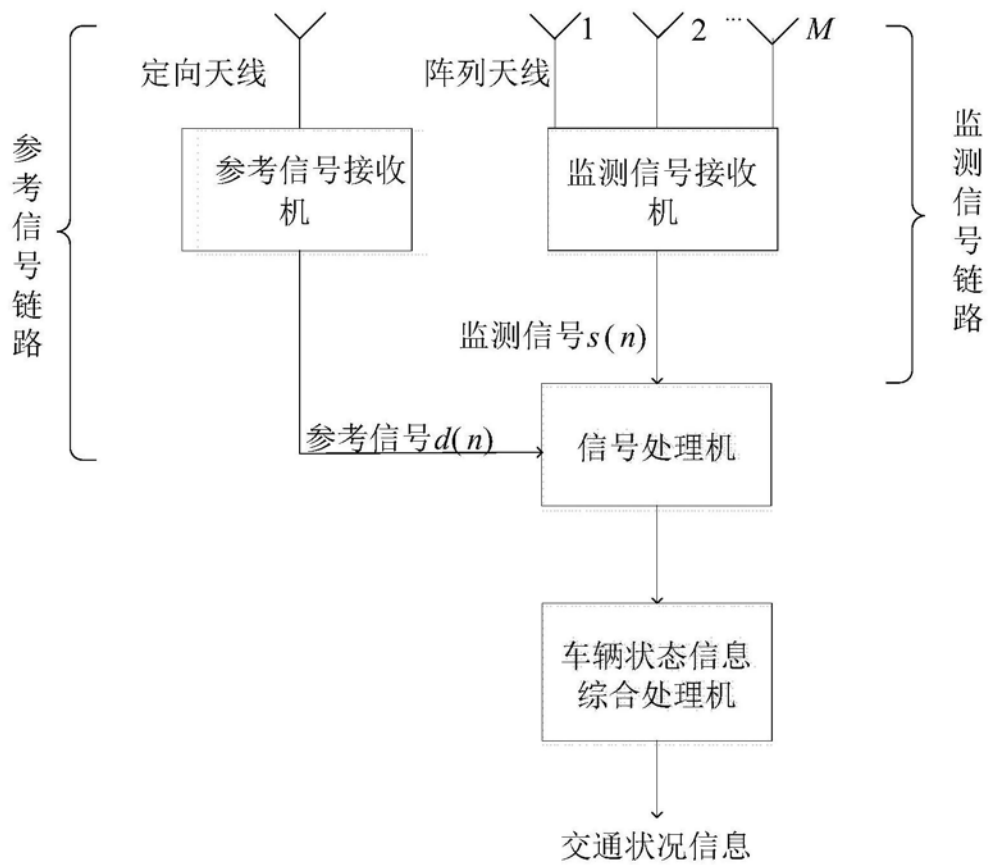


图1

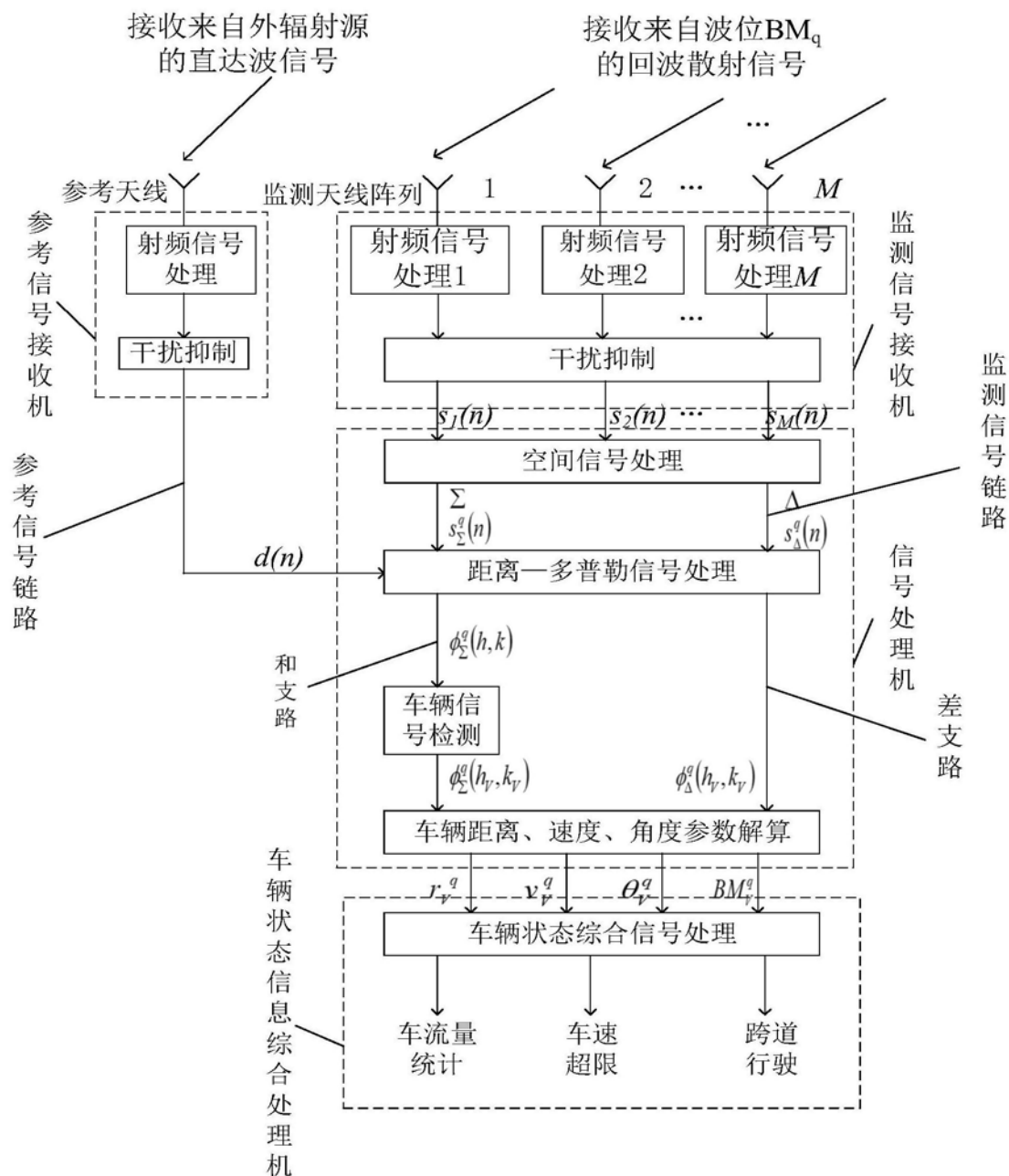


图2

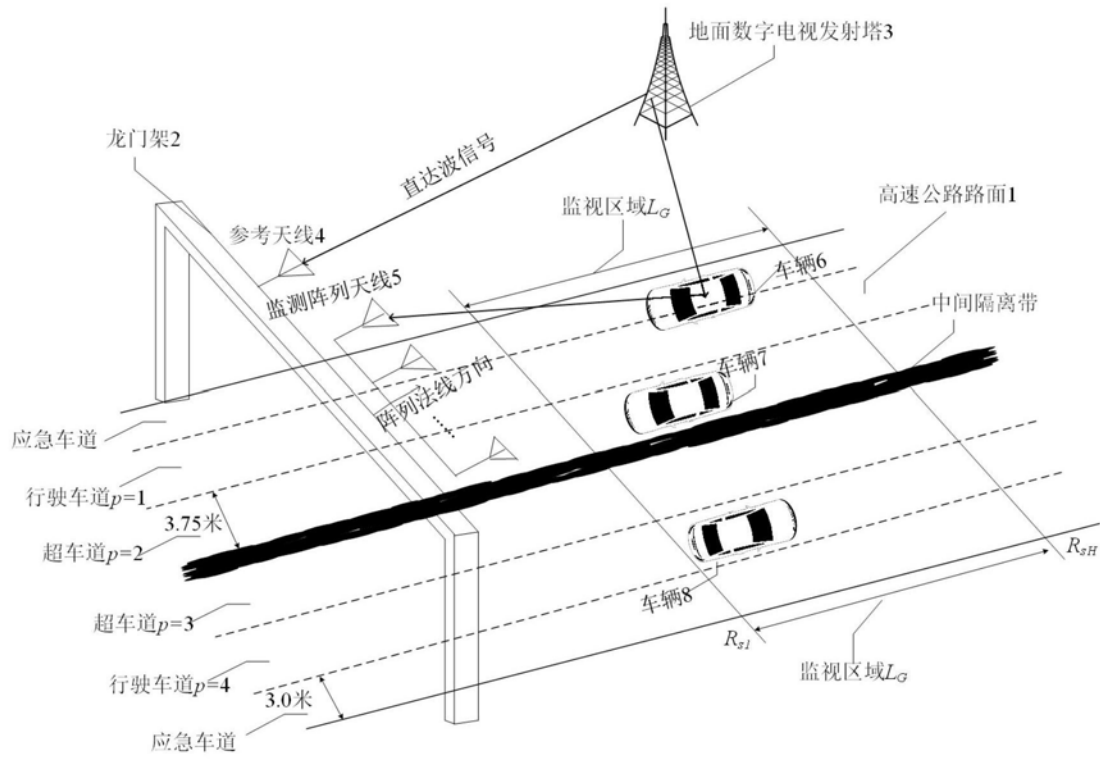


图3

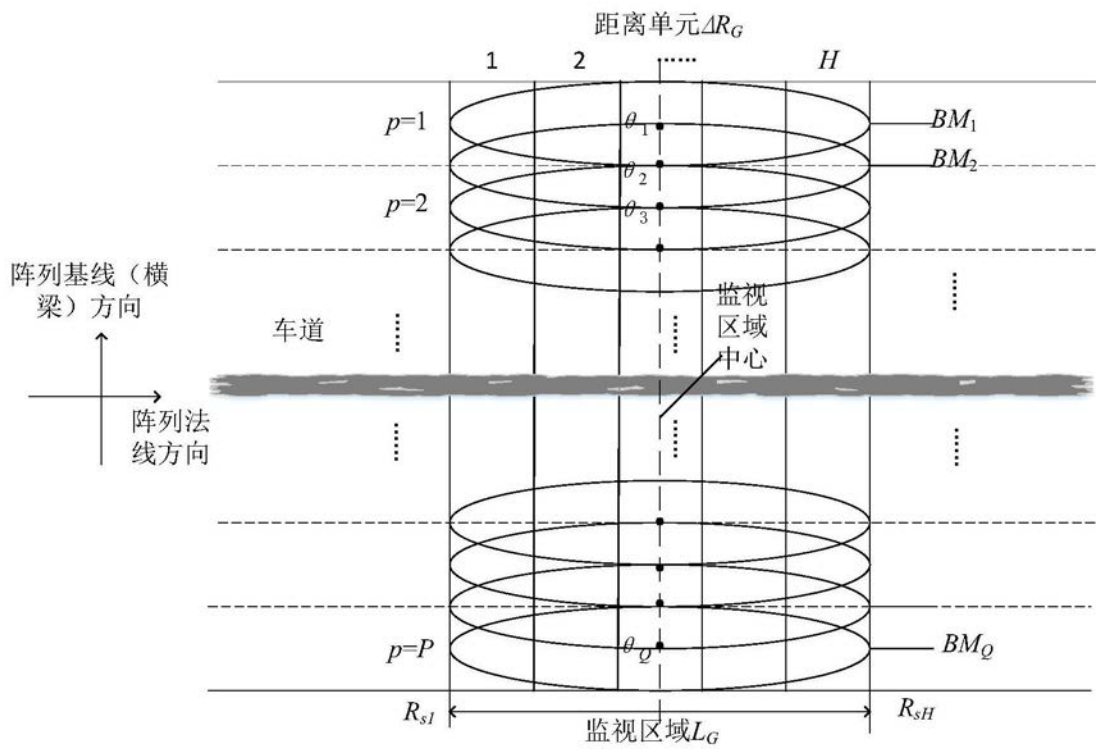


图4

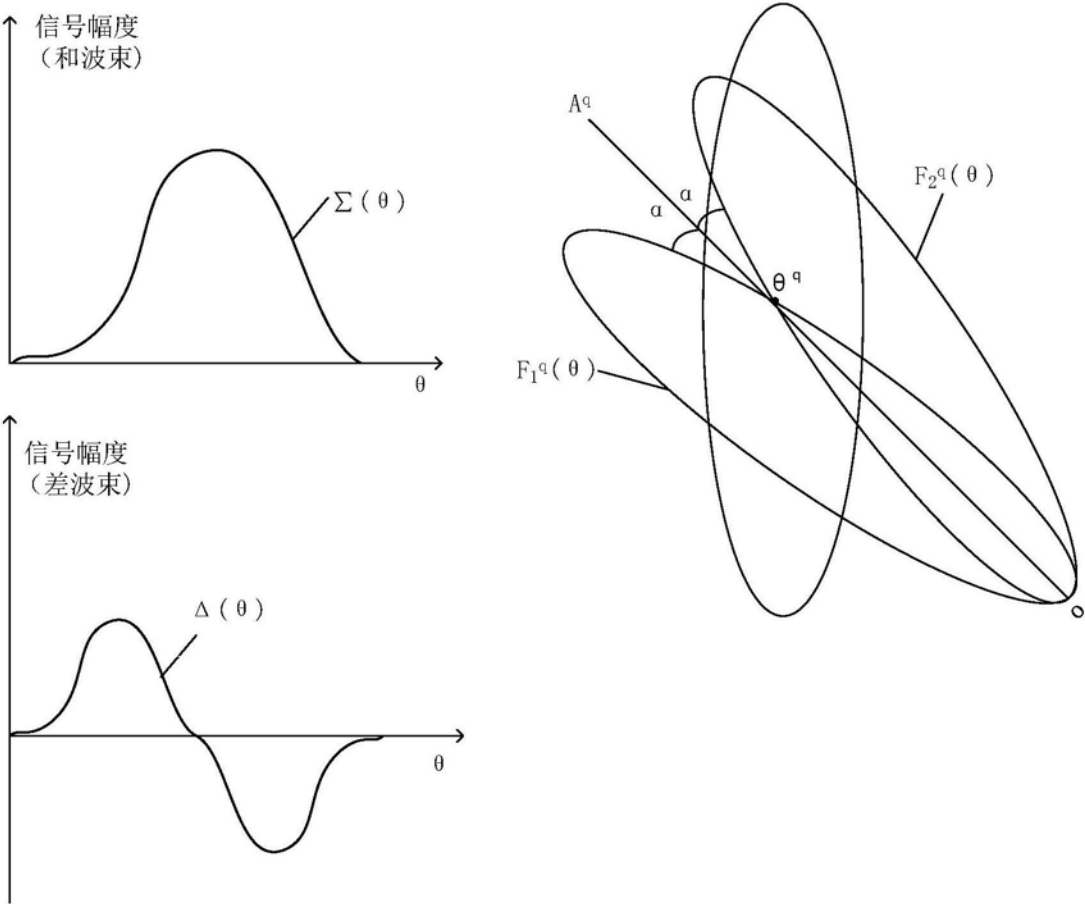


图5

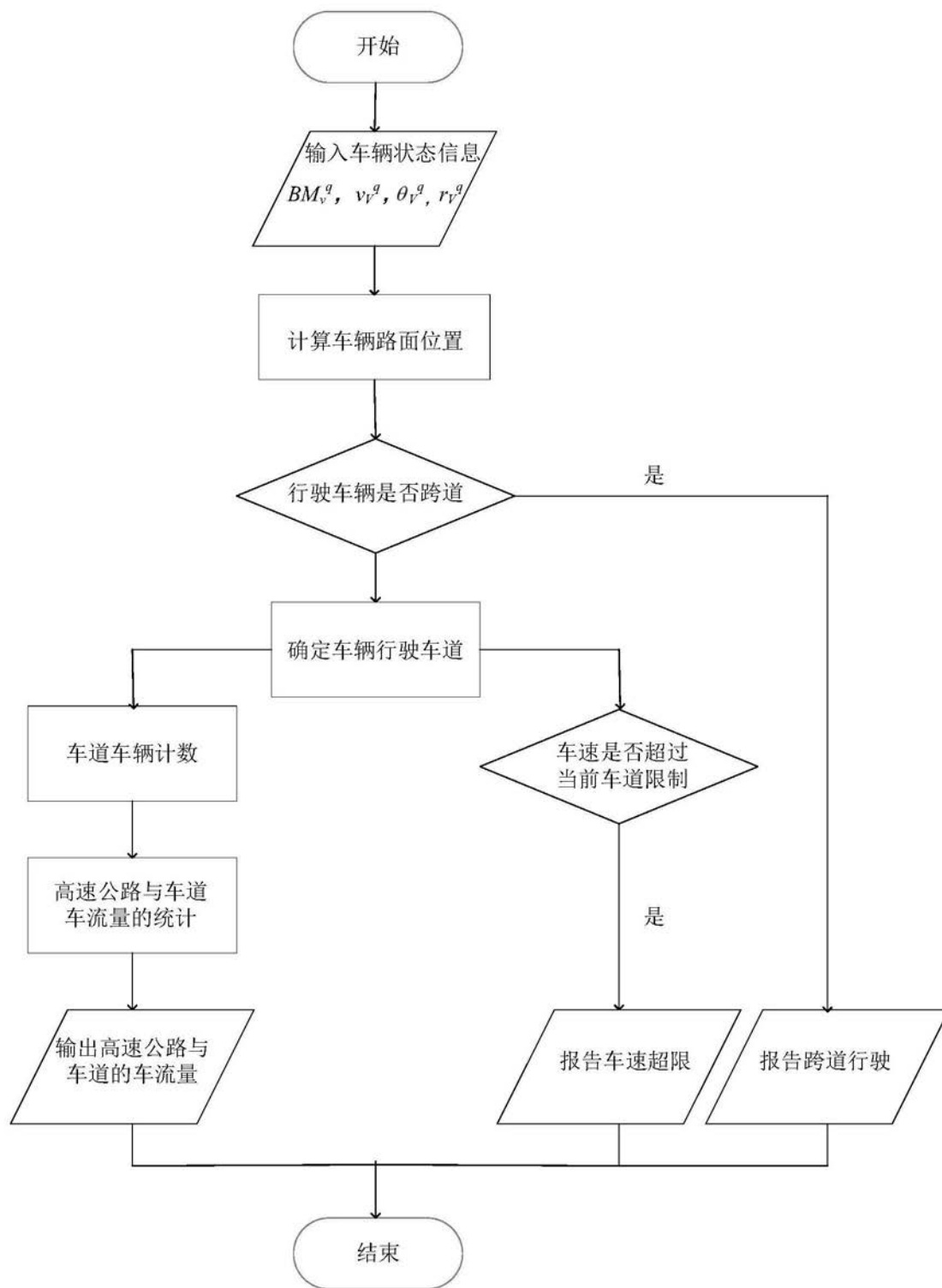


图6